

PCT/JP 2004/004590

31. 3. 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

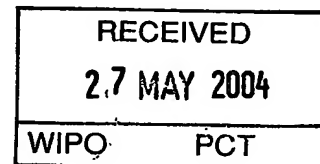
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 4 月 1 0 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 0 6 2 7 7
Application Number:
[ST. 10/C]: [J. P 2 0 0 3 - 1 0 6 2 7 7]

出 願 人 独 立 行 政 法 人 科 学 技 術 振 興 機 構
Applicant(s):

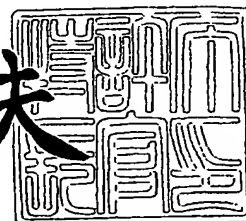


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 5 月 1 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 4 0 1 5 3

【書類名】 特許願

【整理番号】 PS03-1275

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

【住所又は居所】 東京都府中市美好町 3 - 4 0 - 8

【氏名】 澁谷 憲悟

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県松戸市西馬橋 2 - 4 0 - 2 1 - 1 0 5

【氏名】 村上 英利

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区東品川 2 - 5 - 6 - 9 0 5

【氏名】 斎藤 晴雄

【発明者】

【住所又は居所】 東京都目黒区目黒 1 - 9 - 1 2

【氏名】 浅井 圭介

【特許出願人】

【識別番号】 396020800

【氏名又は名称】 科学技術振興事業団

【代理人】

【識別番号】 100087631

【弁理士】

【氏名又は名称】 滝田 清暉

【選任した代理人】

【識別番号】 100110249

【弁理士】

【氏名又は名称】 下田 昭

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011017

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 放射線検出装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 シンチレータとして CsBr 結晶を用い、シンチレータからの受光に光電子増倍管を用いた放射線検出装置であって、該光電子増倍管が、300～500 nm の光を検出し、シングルフォトンが検出可能な感度と、シングルフォトンに対して 30 ps 以下の半値幅と、10 mm² 以上の受光面積とを有することを特徴とする放射線検出装置。

【請求項 2】 ガンマ線検出のための請求項 1 に記載の放射線検出装置。

【請求項 3】 前記 CsBr 結晶が、CsCl 型の結晶構造を有し、その Cs と Br の原子比が 1 : 1 である請求項 1 又は 2 に記載の放射線検出装置。

【請求項 4】 前記光電子増倍管が、MCP 内蔵光電子増倍管である請求項 1～3 のいずれか一項に記載の放射線検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、放射線、特にガンマ線の検出装置に関し、更に詳細には時間分解能の極めて早いガンマ線検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

放射線検出器は、固体の輻射緩和現象を利用して、電離放射線を光学的に検出・測定するものである。近年、物理、化学、生物及び医療などの分野において、短パルス放射線の利用が進められており、短パルス放射線を簡易に測定する方法が求められている。例えば、医療機器である PET（ポジトロン・エミッション・トモグラフィー）では、放射線検出器の時間分解性能を測定系の位置検出に利用することが可能であり、その場合時間分解能が高ければ高いほど、より短時間でより精密な診断を行うことが出来る。従って、高時間分解能放射線検出器に対する要請は極めて大きい。

【0003】

従来の放射線検出器のうち、特にガンマ線検出器の時間分解能は満足がゆくものではなかった。

例えば、今までのところ最も良い時間分解能として、プラスチックシンチレーターとダイノード増幅型光電子増倍管を用いてアナログ回路で時間処理する方法で測定したものは124 ps（非特許文献1）、BaF₂シンチレーターとダイノード増幅型光電子増倍管とデジタルオシロスコープを用いる方法で測定したものは155 ps（非特許文献2）、プラスチックシンチレーターとダイノード増幅型光電子増倍管とデジタルオシロスコープを用いる方法で測定したものは120 ps（斎藤晴雄 2003年出版予定）を示していた。

【0004】

一方、CsBr（臭化セシウム）結晶からの高速発光は、1990年ごろから光物性の研究者の間では知られており（非特許文献3）、その発光量、発光の減衰時間、その温度依存性が測定されている（非特許文献4）。表1に示すように、室温において、発光量がBaF₂の高速成分の1%（NaI（Tl）の0.04%）、減衰時間が30ピコ秒であった。室温での発光量が非常に少ないが、減衰時間が非常に高速なことが知られていた。

【表1】

	発光量(NaI(Tl)比)	減衰時間
CsBr(室温)	0.04%	30ps
BaF ₂	4%	800ps

しかしCsBr結晶をガンマ線計測に応用する発想はなかった。

【0005】

また、高速性に特徴のあるMCP内蔵光電子増倍管は、1980年ごろから市販されている。MCP内蔵光電子増倍管と通常の光電子増倍管との比較を表2に示す。MCP内蔵光電子増倍管は、波形の立ち上がり時間(rise time)と走行時間のばらつき(T.T.S., Transit time spread)が小さい点に特徴がある。

【表 2】

	立ち上がり時間	半値幅
MCP内蔵光電子増倍管 (浜松ホトニクスR3809U)	150ps	25ps
普通の光電子増倍管で最も も高速なもの (浜松ホトニクスH3378)	700ps	370ps

普通の光電子増倍管と普通のガンマ線高速測定用シンチレーター（BaF₂又はプラスチックシンチレーター）を用いたときの時間分解能は、光電面における光電子数の統計的ばらつきで決定され、立ち上がり時間や走行時間のばらつきはあまり効かない。しかし、MCP内蔵光電子増倍管と普通のガンマ線高速測定用シンチレーターを用いて、ガンマ線の時間測定を行うと、使用できる光電子の数が少ないため、統計的ばらつきが大きく、普通の光電子増倍管より悪い時間分解能しか得られないため、ガンマ線の時間計測には使用されていなかった。

【0006】

【非特許文献1】

M. Moszynski, 1993年 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 337 (1993) 154

【非特許文献2】

斎藤晴雄 2002年 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 487 (2002) 612-617

【非特許文献3】

J PHYS SOC JPN 62: (8) 2904-2914 AUG 1993

【非特許文献4】

J PHYS SOC JPN 66: (8) 2502-2512 AUG 1997

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

従来のガンマ線検出器は、時間分解能が不十分であった。そのため、以下の応用の際の制約となっていた。

(1) 医療におけるPET (Positron Emission Tomography, 陽電子断層撮影)

時間分解能が向上すれば、時間情報から、陽電子の位置を検出可能になり、測定時間の短縮、線源強度の低減など、被験者の負担低減につながる。

(2) 陽電子寿命測定法

材料科学において、陽電子の寿命測定は格子欠陥の検出に利用されている。時間分解能が向上すれば検出感度が向上する。

本発明は、このような制約を解消するため、ガンマ線検出の時間分解能を向上させることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、ガンマ線を光に変換するシンチレーター結晶としてCsBr（臭化セシウム）を用い、光を電気信号に変換する光電子増倍管としてMCP内蔵タイプを用いることにより、ガンマ線検出において従来値を大きく上回る時間分解能を得られることを見出し、本発明を完成させた。

即ち、本発明は、シンチレータとしてCsBr結晶を用い、シンチレータからの受光に光電子増倍管を用いた放射線検出装置であって、該光電子増倍管が、300～500nmの光を検出し、シングルフォトンが検出可能な感度と、シングルフォトンに対して30ps以下の半値幅と、10mm²以上の受光面積とを有することを特徴とする放射線検出装置である。

【0009】

【発明の実施の形態】

本発明の放射線検出装置は、シンチレータとしてCsBr結晶を用い、シンチレータからの受光に光電子増倍管を用いる。

本発明で用いるCsBr結晶は、そのように分類される如何なる結晶を用いてもよいが、CsBrを含むアルカリハライド結晶は、1960年代から高純度のものが光学用に商業的に提供されており、本発明においてはこのようなものを用いることができる。

その成分はCs（セシウム）とBr（臭素）の原子比が1：1であり、結晶構造がCsCl型ものが好ましく用いられる。

【0010】

CsBr 結晶は放射線、特にガンマ線を照射すると 300～500 nm の光を放射するため、この放射光を受光するために光電子増倍管を用いる。

光電子増倍管は、光を電子に変換するための光電面と、その電子を増幅する増幅部から構成される。一方、MCP（マイクロチャンネルプレート）は、ガラスに微細な穴（チャンネル）が空いている素子であり、この両面に電圧（数kV）をかけると、負電位の側から入射した電子がチャンネルの壁にぶつかりながら 2 次電子を出して増幅される。MCP 内蔵光電子増倍管は、このような素子を内蔵することにより、シングルフォトンの検出を可能とし、応答時間を高速にした光電子増倍管である。このような MCP 内蔵光電子増倍管は市販されており、例えば、浜松ホトニクス株式会社から R3809U シリーズや R5916U シリーズとして入手可能である。これらのスペックを図 1 に示す。

【0011】

本発明の放射線検出装置は、上記の CsBr 結晶と光電子増倍管以外に、これら部品を結合して、放射線を検出するために適宜必要なスペックを有する装置を組合わせて用いてもよい。例えば、CsBr 結晶と MCP 内蔵光電子増倍管にデジタルオシロスコープを組み合わせたか、このデジタルオシロスコープを外部トリガ回路で動作させるよう構成してもよい。更に、検出された波形の処理のために適宜公知の装置を用いることができる。

【0012】

この放射線検出装置の測定対象は、陽電子消滅ガンマ線が好ましく、線源は PET に使用されるものとして、C-11、N-13、O-15、F-18、陽電子寿命測定に使用されるものとして Na-22、Ge-68 などが挙げられる。

【0013】

【実施例】

以下、実施例にて本発明を例証するが、本発明を限定することを意図するものではない。

測定装置

まず、シンチレータとして、CsBr 結晶（Korth Kristalle GMBH 社）を用いた。その成分は Cs と Br が 1 : 1（原子比）であり、結晶構造は CsCl 型で

ある。サイズは $8\text{ mm } \phi \times 8\text{ mm}$ であり、全面研磨品である。

光電子増倍管として、MCP 内蔵光電子増倍管（浜松ホトニクス R3809U）を用いた。その立ち上がり時間は 150 ps 、走行時間のばらつきは 25 ps である。その構造を図 2 に示す。図 2 において、CATHODE が光電面で、ここで光が電子に変換され、その電子が MCP に入射し、増幅され、ANODE から出力される。

この CsBr 結晶にシリコングリスを全面に塗布したのち、光電子増倍管への貼り付け面以外を遮光テープで覆ってから、直接光電子増倍管の受光面に貼り付け、放射線検出装置とした。

線源として、 ^{22}Na （入手先：日本アイソトープ協会、製造元：PerkinElmer lifescience 社）を用いた。強度は 1 MBq であった。 ^{22}Na からは、 1.27 MeV のガンマ線と陽電子が同時に放出され、陽電子はすぐに 2 本の 0.511 MeV のガンマ線になる。今回のセットアップでは 1.27 MeV のガンマ線の効果は無視できる。この線源のサイズは約 2 mm である。

【0014】

これら各装置を、図 3 に示すように配置した。放射線検出装置を 2 つ用意し、その CsBr 結晶が対向するように配置し、光電子増倍管、CsBr 結晶及び線源を同一軸上に並べた。2 つの放射線検出装置の CsBr 結晶の面間距離を 50 mm とした。

これらに、デジタルオシロスコープ（LeCroy 社製 WaveMaster9600、アナログ帯域 6 GHz 、サンプリング周波数 20 GS/s （2ch 同時））、波高弁別器（EG&G ORTEC 社製 モデル 584）、コインシデンス回路（林栄精器製 RPN-130）を図 3 に示すように配置し、2 つの光電子増倍管が受光した時間の差を測定した。このように装置を配置した結果、時間分解能は 80 ps 以下、距離分解能は 12 mm 程度であった。

【0015】

測定操作

まず、線源（サイズ：約 2 mm ）を一方の放射線検出装置の CsBr 結晶から 20 mm の位置に置いて、線源からの放射線を測定した。各点間の時間が 5 ps

であるので、縦軸（カウント）が頂点から半分の位置の幅は、16点以下であった。即ち、2本の陽電子消滅ガンマ線（0.511 MeV, 同時に出る）の時間差測定的时间分解能（半値幅）として80 ps以下の値が得られた。

次に、線源を他方の放射線検出装置のCsBr結晶の方向へ10 mm移動させて、同様に測定した。

【0016】

測定結果

測定結果を図4に示す。10 mmの移動により、右検出器に10 mm近づき、左検出器から10 mm離れる。図4からこの移動前後で、ピークが13.3チャンネル（即ち、66.6 ps）移動していることが分かる。

光速が3 cm/100 psなので、66 psだけピーク位置が移動することが予想される。この予想は上記の測定結果とよく一致した。

即ち、陽電子消滅ガンマ線（0.511 MeV）及びそれとエネルギーが近いガンマ線的时间測定において、従来になかった高い時間分解能を実現する装置が実現した。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に用いることのできるMCP内蔵光電子増倍管とそのスペックを示す図である（浜松ホトニクス株式会社のパンフレット）。

【図2】

MCP内蔵光電子増倍管（浜松ホトニクスR3809U）の構造を示す図である（浜松ホトニクス株式会社のパンフレットから）。

【図3】

実施例で用いた測定装置の配置を示す図である。

【図4】

測定結果を示す図である。横軸はチャンネル数（時間）を表し、縦軸はカウント数を表す。Position Aは移動前、Position Bは移動後の測定値を示す。

【書類名】

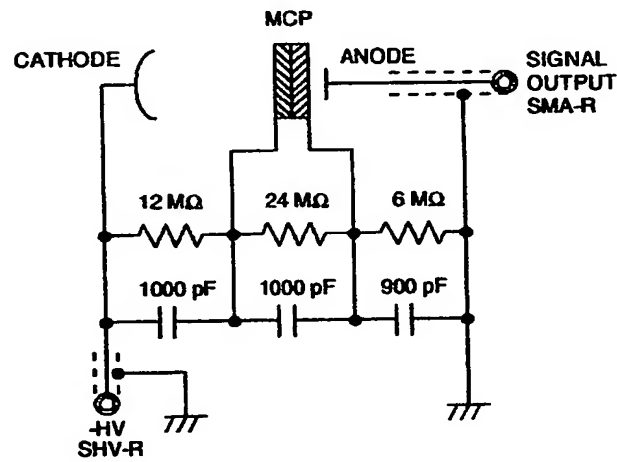
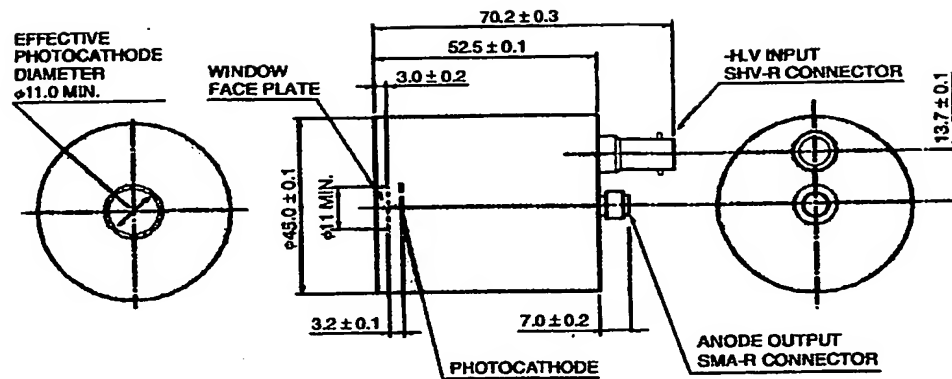
図面

【図 1】

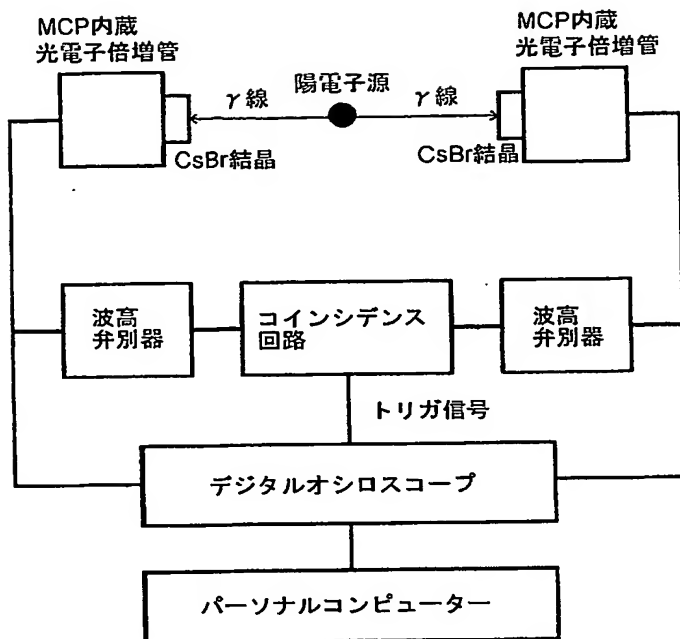
Type No.	Spectral Response				Remarks				Max. Ratings		
	Effective Area (mm)	Curve Code	Peak Wavelength (nm)	Photo-cathode Material	With-out line Material	No. of MCP Stage	+HV Input Terminal Voltage	Signal Output Terminal Voltage	Anode to Cathode Voltage (V)	Anode Current Contin-uous (nA)	Anode Current Pulsed Peak (mA)
	100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200										
Standard Types											
R3809U-50	φ11	500S	430	MA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350
R3809U-51	φ11	501S	600	EMA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350
R3809U-52	φ11	403K	400	BA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350
R3809U-57	φ11	201M	230	Cs-Te	MF	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350
R3809U-58	φ11	500M	430	MA	MF	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350
R3809U-59	φ11	700M	800	Ag-O-Cs	K	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350
Gated Types											
R5916U-50	φ10	500S	430	MA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350
R5916U-51	φ10	501S	600	EMA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350
R5916U-52	φ10	403K	400	BA	Q	2	SHV-R	SMA-R	-3400	100	350

The R5916 series can be gated by input of a +15 V gate signal. Standard types are normally OFF, but normally ON types are also available. Gate operation is 5 ns, though this depends on the gate signal input pulse.

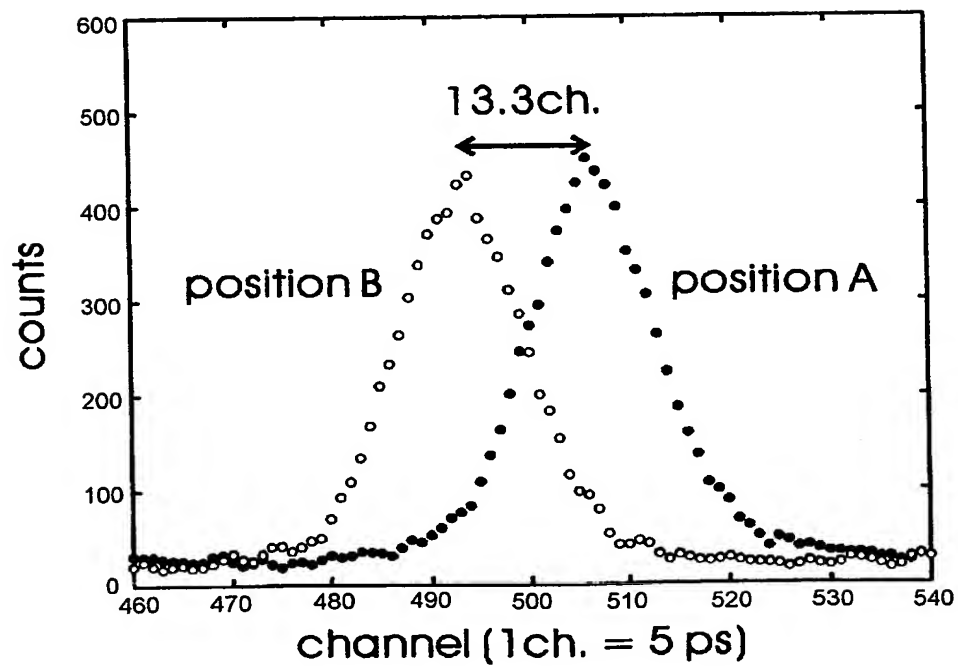
【図 2】



【図3】



【図4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 時間分解能の極めて早いガンマ線検出装置を提供する。

【解決手段】 シンチレーター結晶としてCsBr（臭化セシウム）を用い、光電子増倍管としてMCP内蔵タイプを用いることにより、ガンマ線検出において従来値を大きく上回る時間分解能を得られる。

【選択図】 なし

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-106277
受付番号	50300594207
書類名	特許願
担当官	第六担当上席 0095
作成日	平成15年 4月11日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年 4月10日
-------	-------------

次頁無

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）
【提出日】 平成15年10月31日
【あて先】 特許庁長官 殿
【事件の表示】
【出願番号】 特願2003-106277
【承継人】
【識別番号】 503360115
【住所又は居所】 埼玉県川口市本町四丁目1番8号
【氏名又は名称】 独立行政法人科学技術振興機構
【代表者】 沖村 憲樹
【連絡先】 〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 独立行政法人科学技術振興機構 知的財産戦略室 佐々木吉正 TEL 03-5214-8486 FAX 03-5214-8417

【提出物件の目録】
【物件名】 権利の承継を証明する書面 1
【援用の表示】 平成15年10月31日付提出の特第許3469156号にかかる一般承継による移転登録申請書に添付のものを援用する。

【物件名】 登記簿謄本 1
【援用の表示】 平成15年10月31日付提出の特第許3469156号にかかる一般承継による移転登録申請書に添付のものを援用する。

特願 2003-106277

出願人履歴情報

識別番号

[396020800]

1. 変更年月日

1998年 2月24日

[変更理由]

名称変更

住所

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

氏名

科学技術振興事業団

特願 2 0 0 3 - 1 0 6 2 7 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[5 0 3 3 6 0 1 1 5]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 1 0 月 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号

氏 名

独立行政法人 科学技術振興機構